

Neue Bezeichnung: INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU

DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY

30-0047/002

30-0047(002)

Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden

(Literatursichtung im Hinblick auf DIN 18 230)

von

Akad. Oberrat Dr.-Ing. U. Schneider

Oktober 1978

Die Untersuchung wurde im Auftrage des Instituts für Bautechnik, Berlin, durchgeführt (Az.: IV/1-5-158/77).

Postsendungen:
Beethovenstraße 52, 3300 Braunschweig
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher: (05 31) 391 22 81

Fernschreiber: 9 52 696 lbstb d
Telegraphadresse: MPA Braunschweig

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber an einzelne Mitarbeiter.

Symbole und Benennungen

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Benennung</u>
A_g	m^2	Brandabschnittsfläche
A_f	m^2	Brandherd
A_i	m^2	Einströmungsquerschnitt
A_w	m^2	Fensterfläche
A'_w	m^2	Dachfläche
B	m	Fensterbreite
b_s	m	Breite der Rauchschrze
c	$\frac{kJ}{kg \cdot K}$	spez. Wärmekapazität
d_b	m	Dicke der Heißgasschicht
d_s	m	Höhe der Rauchschrze
G	m^3/kg	spez. Abgasmenge
G^*	kg/s	Quellterm
g	m/s^2	Erdbeschleunigung
h	m	Dachhöhe - neutrale Ebene
h'	m	Dachhöhe - Oberkante Fenster
h_b	m	Fußboden - Unterkante Heißgasschicht
h_D	m	Fensterhöhe
h_o	m	Fensteroberkante - neutrale Ebene
h_s	m	Fußboden - Unterkante Rauchschrze
h_u	m	Fensterunterkante - neutrale Ebene
k_f	1	Vergrößerungsfaktor nach DIN 18 230
L	m^3/kg	spez. Luftbedarf
\dot{M}_b	kg/s	Gasmenge über dem "Plume"

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Benennung</u>
\dot{M}_f	kg/s	Gasmenge infolge des Brennstoffs
\dot{M}_i	kg/s	einströmende bzw. induzierte Luftmenge
\dot{M}_L	kg/s	Massenstrom der Luft
\dot{M}_s	kg/s	Gasmenge unter der Schürze
\dot{M}_v	kg/s	Massenstrom der Verbrennungsgase
\dot{M}'_v	kg/s	Massenstrom durch den Dachlüfter
\dot{M}_v^*	kg/s	Summe der Massenströme
p	N/m ²	Druck
Q_f	kJ/s	Gesamtwärme pro Zeit und Punktquelle
R	kg	Brennstoffmenge
\dot{R}	kg/s	Abbrandgeschwindigkeit
R_g	N m/kg K	Gaskonstante
r	1	Luftmenge pro Brennstoffmenge bei stöchiometrischer Verbrennung
\tilde{r}	kg	Luftmenge bei stöchiometrischer Verbrennung
r_b	m	Höhe des "Plume"
r_y	m	Koordinate
T_g	K	Temperatur der Verbrennungsgase
T_o	K	Temperatur der Luft
u_i	m/s	induzierte Geschwindigkeit
u_y	m/s	Geschwindigkeit in der Achse einer Gassäule
v_g	m/s	Geschwindigkeit der Verbrennungsgase
v'_g	m/s	Geschwindigkeit der Verbrennungsgase im Dach
v_o	m/s	Geschwindigkeit der Luft
w_g	1	Molekulargewicht der Verbrennungsgase
w_o	1	Molekulargewicht der Luft
x	1	Transformationsfaktor

<u>Symbol</u>	<u>Dimension</u>	<u>Benennung</u>
y	m	Koordinate
ρ_g	kg/m^3	Dichte der Verbrennungsgase
ρ_o	kg/m^3	Dichte der Luft
μ	1	Kontraktionsbeiwert
Φ	1	Vergrößerung der Luftmenge bei nicht stöchiometrischer Verbrennung
δ	m	Anstieg der Diskontinuitätsfläche

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	6
2. Problemstellung	7
3. Stand der Erkenntnisse über den Gaswechsel bei Gebäudebränden . .	8
3.1. Voll entwickelte Brände	8
3.1.1. Brandräume mit vertikalen Öffnungen	8
3.1.2. Brandräume mit horizontalen und vertikalen Öffnungen .	12
3.2. Nicht voll entwickelte Brände	15
3.2.1. Kleine, nicht voll entwickelte Brände	15
3.2.2. Große, nicht voll entwickelte Brände	21
3.2.3. Theorie nach Prahl und Emmons	24
4. Anwendungen hinsichtlich DIN 18 230	27
5. Schlußfolgerungen	32
6. Schrifttum	37

1. Einleitung

Über den Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden liegen umfangreiche Untersuchungen vor. Einerseits handelt es sich dabei um Arbeiten verschiedener Brandforschungsinstitute des In- und Auslands, z. B. Institute of Building Materials, Tokio; Fire Research Station, Borehamwood; Institute of Technology, Lund - um einige wichtige ausländische Institutionen zu nennen -, andererseits liegen umfangreiche Untersuchungsergebnisse vor, die auf Seiten der Hersteller von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen gewonnen wurden.

Die Vielfalt der vorliegenden Berichte hat verschiedene Ursachen. Zunächst ist es richtig und unbestritten, daß dem Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden - insbesondere in Industriegebäuden - eine wesentliche brandschutztechnische Bedeutung zukommt, so daß sich daraus die Notwendigkeit einer detaillierten Betrachtung ergibt. Zum anderen ist der angesprochene Fragenkomplex wissenschaftlich gesehen von äußerst heterogener Art, d. h. es spielen dabei Fragen der verschiedensten Fachgebiete und Disziplinen eine Rolle. Das hat u. a. dazu geführt, daß die Probleme des Rauch- und Wärmeabzugs von sehr unterschiedlichen Stellen und unter den verschiedensten Voraussetzungen behandelt worden sind, so daß es auch für Fachleute schwierig ist, den gesamten Komplex zu überblicken.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden die im Schrifttum zitierten 76 Arbeiten behandelt. Ein großer Teil dieser Arbeiten ist jedoch bereits im Zusammenhang mit der Erarbeitung von DIN 18 232 "Rauch- und Wärmeabzugsanlagen" gesichtet und kommentiert worden (vergl. [41] und [73]), so daß auf die einzelnen Beiträge nur noch in begründeten Einzelfällen Bezug genommen wird. Die darüber hinaus diskutierten Arbeiten behandeln vorzugsweise wissenschaftliche Sonderprobleme, die mit dem Rauch- und Wärmeabzug ursächlich verbunden sind, im Hinblick auf eine praktische Anwendung allerdings bisher kaum Beachtung gefunden haben.

Die Heterogenität des gesamten Materials deutet darauf hin, daß speziell beim Rauch- und Wärmeabzug je nach Anwendungsfall gegenwärtig immer von bestimmten festgelegten Positionen ausgegangen wird, ohne daß andere wertvolle Überlegungen und Betrachtungen darin Eingang finden. Es ist im Rahmen dieser fachlich und finanziell sehr limitierten Studie leider nicht möglich, die Ursachen dieser Entwicklung und die daraus resultierenden Vor- und Nachteile aufzuzeigen, die Arbeit sollte jedoch zum Ziel haben, auch in dieser Richtung neue Anstöße zu vermitteln.

2. Problemstellung

Der Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden wird in DIN 18 230 durch den Wärmeabzugsfaktor w erfaßt. Die Norm hebt somit den Wärmeabzug hervor -- über den Rauchabzug wird dagegen direkt nichts gesagt. Es leuchtet jedoch ein, daß Rauch- und Wärmeabzug eng miteinander verknüpft und je nach Fortgang des Brandgeschehens von Bedeutung sind. Da in der Norm DIN 18 230 ein fortgeschrittenes Brandstadium unterstellt wird, tretender Rauchabzug und seine Bedeutung in der Betrachtung etwas zurück. Er wird durch den Wärmeabzug und die damit zusammenhängenden Fragen der Brandwirkung auf die Bauteile verdrängt.

Indirekt ist der Rauchabzug in der Norm jedoch mehrfach enthalten. Bei der Berechnung der σ -Faktoren wird im probabilistischen Sicherheitskonzept z. B. die Brandbekämpfungsmöglichkeit durch die öffentliche Feuerwehr ausdrücklich vorausgesetzt, d. h. im Prinzip wird also auch das Vorhandensein einer RWA in Fällen, wo dies erforderlich ist, als selbstverständlich angesehen. Im Anhang 3 der Norm, d. h. bei eingeschossigen Hallen mit begrenzten Abmessungen und Brandlasten werden sogar die Dachentlüftungsflächen konkret vorgeschrieben. Es werden allerdings keine differenzierten Angaben über die Ausführung dieser Lüftungsöffnungen gemacht.

Die Festlegung der Wärmeabzugsfaktoren in DIN 18 230 erfolgte aufgrund der Ergebnisse von Brandversuchen in Metz [2], Borehamwood [8] und Lund [45] sowie anhand von Angaben aus der Literatur über den Einfluß der Brandventilation auf den Brandablauf und die daraus resultierenden Brandwirkungen in der Konstruktion. Darüber hinaus wurden auch allgemeine Erfahrungen über die Wirksamkeit von Öffnungen in Gebäuden, die bei den Feuerwehren vorliegen, bei der Festlegung von w berücksichtigt. Eine hinreichende wissenschaftliche Begründung der gewählten Einzelwerte liegt allerdings nicht vor und kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt wahrscheinlich auch nicht gegeben werden. Entsprechende Forschungsarbeiten sind jedoch begonnen bzw. in Vorbereitung.

Dieses Vorhaben hat somit auch zum Ziel, alle bekannten Brandentlüftungsmodelle im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit in DIN 18 230 zu untersuchen. Vor allem sollen die unterschiedlichen theoretischen Ansätze, die gemäß DIN 18 230 bzw. DIN 18 232 jeweils als Grundlage der Berechnungen gewählt wurden, dar-

gelegt und diskutiert werden. Dazu werden die derzeit existierenden Rechenmodelle zur Beurteilung des Gaswechsels bei Gebäudebränden aufgezeigt und soweit erforderlich kommentiert. An bestimmten Modellen wird versucht, den Bezug zur DIN 18 230 herzustellen.

Neben dieser konkreten Zielvorstellung soll die Arbeit auch dazu dienen, um bei zukünftigen Arbeiten den Ausgangspunkt der Untersuchungen besser definieren zu können. Dieses scheint insofern nützlich, als im Zuge der Literatursichtung festzustellen war, daß in vielen Arbeiten keine neuen Informationen zu finden sind, sondern lediglich ältere Ansätze in einer neuen "Verpackung" repitiert werden.

3. Stand der Erkenntnisse über den Gaswechsel bei Gebäudebränden

3.1. Vollentwickelte Brände

3.1.1. Brandräume mit vertikalen Öffnungen

Der Gaswechsel in kleinen Brandräumen mit homogener Gastemperatur wurde in den fünfziger Jahren von Kawagoe [37] erstmalig formuliert. Unter den vereinfachenden Annahmen, daß

- nur horizontale Stromlinien vorhanden sind,
- die idealen Gasgesetze gelten,
- Bernoulli angewendet werden kann,
- Sprünge von Temperatur und Druck an der Öffnungsfläche vorhanden und
- Temperatur und Dichte im Brandraum homogen verteilt sind,

ergibt sich die Ausströmgeschwindigkeit der Gase mit den Symbolen aus Bild 1 zu

$$\text{und} \quad v_g = \left(2 g \cdot y \cdot \left(\frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_g} \right) \right)^{1/2} \quad (3.1)$$

$$v_o = \left(2 g \cdot y \cdot \left(\frac{\rho_g - \rho_o}{\rho_o} \right) \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

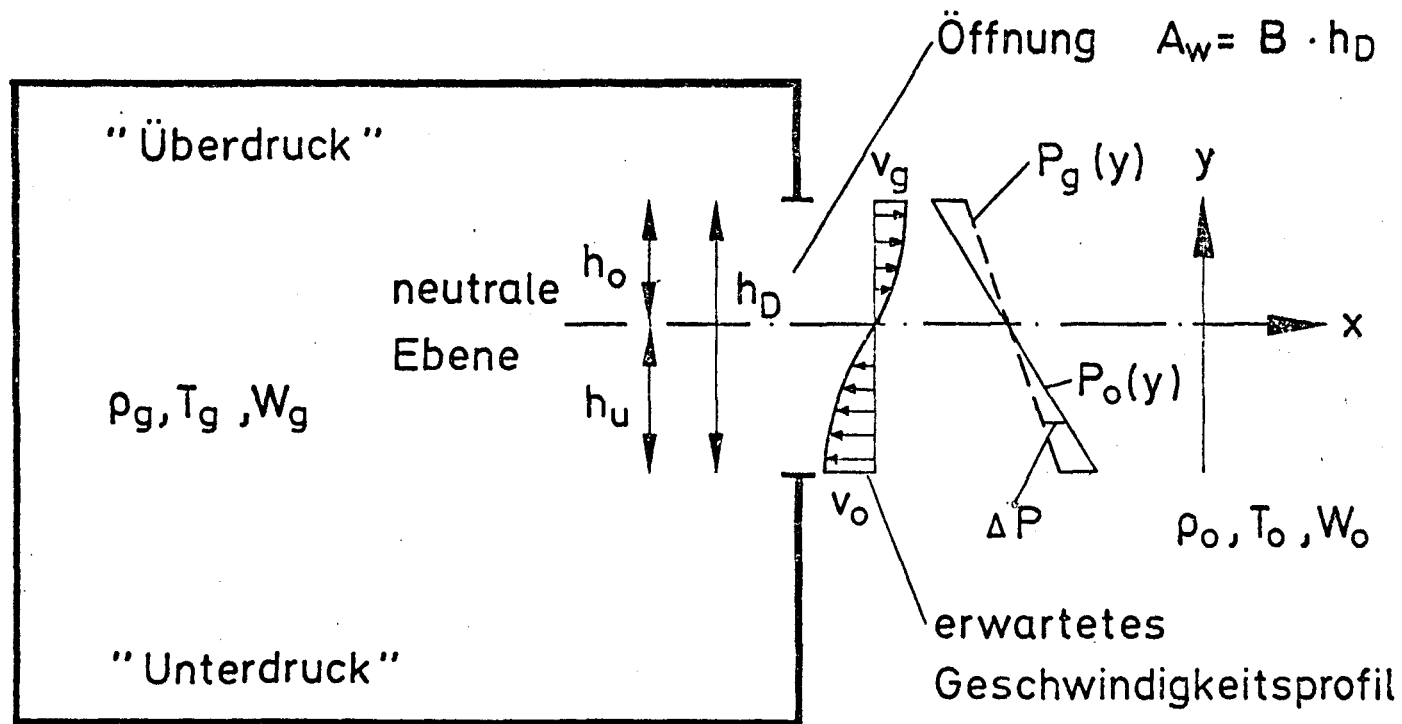


Bild 1: Modell eines Brandraumes mit einer vertikalen Öffnung zur Berechnung des Gaswechsels

Für die ausströmenden Gasmengen erhält man daraus

$$\dot{M}_V = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot h_o^{3/2} \cdot (2 g \cdot \xi_g \cdot (\xi_o - \xi_g))^{1/2} \quad (3.3)$$

Der Lufteintritt ist durch

$$\dot{M}_L = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot h_u^{3/2} \cdot (2 g \cdot \xi_o \cdot (\xi_o - \xi_g))^{1/2} \quad (3.4)$$

gegeben. Die Lage der neutralen Ebene wird durch

$$\frac{h_u}{h_o} = \left(\frac{\xi_g}{\xi_o}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\dot{M}_L}{\dot{M}_V}\right)^{2/3} \quad (3.5)$$

bestimmt, wobei die Massenbilanz im Brandraum

$$\dot{M}_V - \dot{M}_L = \dot{R} \quad (3.6)$$

einzuhalten ist. Die Gl. (3.5) und (3.6) können für den Sonderfall eines Feuers mit konstantem Verbrennungsgleichgewicht bzw. konstanter Umsetzung

$$\frac{\dot{M}_L}{\dot{M}_V} = \frac{L}{G} \frac{[m^3 \text{ Luft/kg Brst.}]}{[m^3 \text{ Abg./kg Brst.}]} \quad (3.7)$$

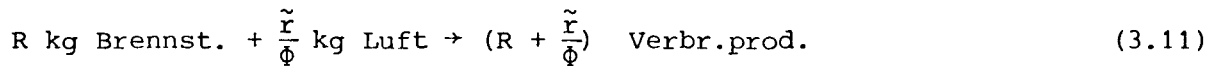
zusammengefaßt werden, so daß man für diesen Spezialfall

$$\frac{h_u}{h_o} = \left(\frac{\xi_g}{\xi_o}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{L}{G}\right)^{2/3} \quad (3.8)$$

erhält. Für die ausströmende Gasmenge ergibt sich somit

$$\dot{M}_V = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot A_w \cdot \frac{(2 g \cdot h_D \cdot \xi_g (\xi_o - \xi_g))^{1/2}}{(1 + (\frac{L}{G})^{2/3} \cdot (\frac{\xi_g}{\xi_o})^{1/3})^{3/2}} \quad (3.9)$$

Für Holzkrippen kann $G = 4,86 \text{ m}^3/\text{kg}$ und $L = 3,98 \text{ m}^3/\text{kg}$ gesetzt werden. Die Gl. (3.9) gilt im Prinzip jedoch nur für den nach Gl. (3.7) gekennzeichneten speziellen Brandablauf. Sie kann jedoch verallgemeinert werden, wenn man die Verbrennungsgleichung



berücksichtigt, d. h.

$$\frac{\dot{M}_V}{\dot{M}_L} = 1 + \frac{R \cdot \Phi}{\tilde{r}} = 1 + \frac{\Phi}{r} \quad (3.12)$$

wobei $r = \tilde{r}/R$ die pro kg Brennstoff benötigte Luft in kg bei stöchiometrischer Verbrennung darstellt.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich die abgeführte Gasmenge aus

$$\dot{M}_V = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot A_w \cdot \frac{(2 g \cdot h_D \cdot \xi_g \cdot (\xi_o - \xi_g))^{1/2}}{(1 + (\frac{\xi_g}{\xi_o})^{1/3} \cdot (\frac{r}{r + \Phi})^{2/3})^{3/2}} \quad (3.13)$$

Mit $\xi_g = \frac{W_g \cdot p}{R_g \cdot T_g}$ erhält man daraus (3.14)

$$\dot{M}_V = \frac{2}{3} \mu \cdot A_w \cdot \xi_g \cdot \frac{(2 g \cdot h_D \cdot (\frac{T_g}{T_o} \cdot \frac{W_o}{W_g} - 1))^{1/2}}{(1 + (\frac{W_g T_o}{W_o T_g})^{1/3} \cdot (\frac{\dot{M}_V - R}{\dot{M}_V})^{2/3})^{3/2}} \quad (3.15)$$

und

$$\dot{M}_L = \frac{2}{3} \mu \cdot A_w \cdot \xi_o \cdot \frac{(2 g \cdot h_D \cdot (1 - \frac{T_o}{T_g} \cdot \frac{W_g}{W_o}))^{1/2}}{(1 + (\frac{W_o}{W_g} \cdot \frac{T_g}{T_o})^{1/3} \cdot (\frac{\dot{M}_L + R}{\dot{M}_L})^{2/3})^{3/2}} \quad (3.16)$$

d. h. im allgemeinen Fall lassen sich die Gasströme \dot{M}_V bzw. \dot{M}_L nicht mehr explizit angeben; sie sind mit der Abbrandgeschwindigkeit \dot{R} und dem Gasaustausch durch transzendente Gleichungen verknüpft.

Sind in einem Gebäude mehrere vertikale Öffnungen unterschiedlicher Größe vorhanden, so können nach schwedischen Arbeiten [45] die Flächen wie folgt zusammengefaßt werden:

$$(A_w \cdot h_D^{1/2})_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^n A_{wi} \cdot h_{Di}^{1/2} \quad (3.17)$$

Es läßt sich anhand von Gl. (3.15) bzw. (3.16) zeigen, daß dieses nur dann gilt, wenn das Verhältnis h_o/h_u für alle Öffnungen identisch ist, was in der Praxis sicherlich nicht zutrifft. Da in der zitierten Arbeit nur von der vereinfachten Gl. (3.9) ausgegangen wird, fällt dieser grundsätzliche Fehler im allgemeinen jedoch nicht auf. Detaillierte Untersuchungen in dieser Richtung sind dem Verfasser nicht bekannt.

3.1.2. Brandräume mit horizontalen und vertikalen Öffnungen

Wird der Gaswechsel unter ähnlichen Voraussetzungen wie in Abschnitt 3.1.1 berechnet, so ergibt sich für die vertikale Gasströmung im Dach (vergl. Bild 2) aus

$$v'_g = (2 g \cdot h \cdot (\frac{s_o}{s_g} - 1))^{1/2} \quad (3.18)$$

Die horizontale Gasgeschwindigkeit ist gemäß Gl. (3.1) zu berechnen. Die Gas-mengen sind durch

$$\dot{M}_v^* = \dot{M}_v' + \dot{M}_v \quad (3.19)$$

bestimmt, und man erhält mit Gl. (3.18)

$$\dot{M}_v' = \mu \cdot A_w' \cdot s_g \cdot (2 g \cdot h \cdot (\frac{T_g}{T_o} \frac{w_o}{w_g} - 1))^{1/2} \quad (3.20)$$

bzw.

$$\dot{M}_v = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot h_o \cdot s_g \cdot (2 g \cdot h_o \cdot (\frac{T_g}{T_o} \frac{w_o}{w_g} - 1))^{1/2} \quad (3.21)$$

Umgebung: ρ_o, T_o, W_o

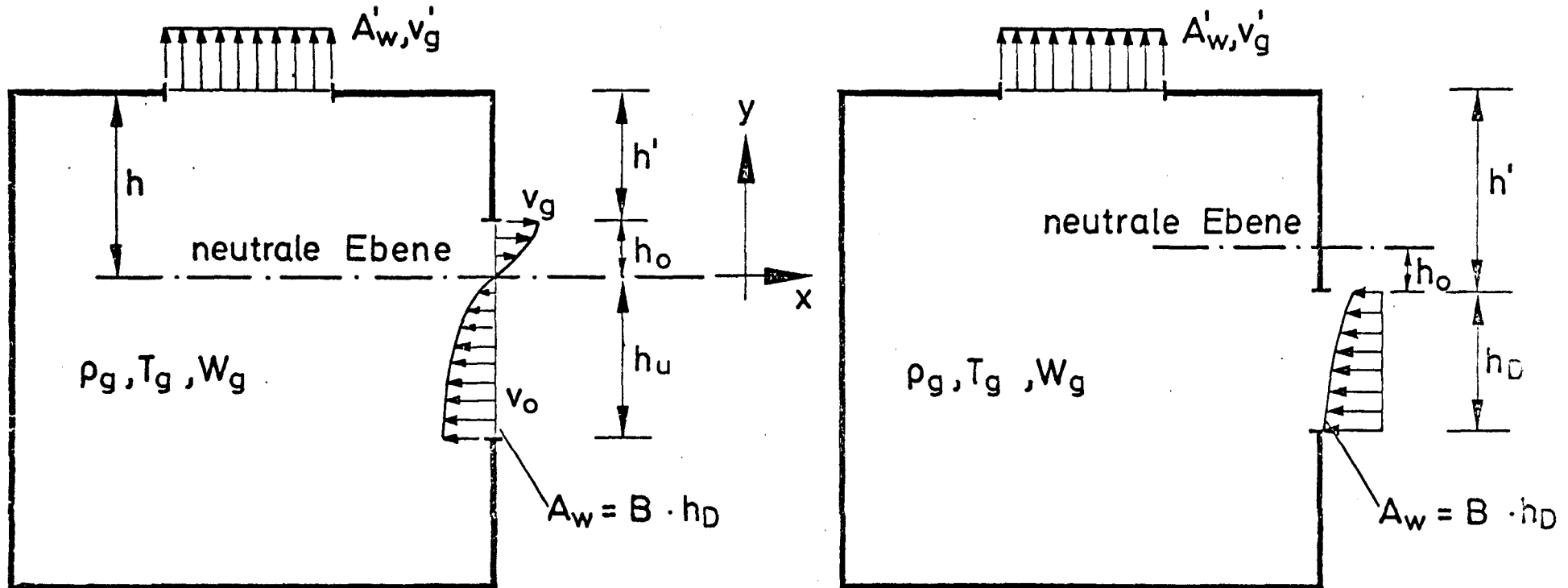


Bild 2: Modelle von Brandräumen mit einer horizontalen und einer vertikalen Öffnung zur Berechnung des Gaswechsels

Die Zuluft kann durch

$$\dot{M}_L = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot h_u \cdot \xi_o \cdot \left(2 g \cdot h_u \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T_g} \frac{W_g}{W_o} \right) \right)^{1/2} \quad (3.22)$$

berechnet werden. Die Schwierigkeit liegt in diesem Fall wiederum in der Bestimmung der neutralen Ebene (s. Bild 2). Grundsätzlich sind mehrere Fälle zu unterscheiden. Sofern die neutrale Ebene innerhalb der vertikalen Öffnung liegt, kann ihre Lage durch die transzendente Gleichung

$$\begin{aligned} \left(\frac{T_o}{T_g} \cdot \frac{W_g}{W_o} \right)^{1/2} \cdot (h_D - h_u)^{3/2} - h_u^{3/2} + C_1 \cdot (h_o - h_u + h')^{1/2} \\ = C_2 \cdot \dot{R} \end{aligned} \quad (3.23)$$

berechnet werden, worin

$$C_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{A'_w}{B} \cdot \left(\frac{T_o}{T_g} \frac{W_g}{W_o} \right)^{1/2} \quad (3.24)$$

und

$$C_2 = \frac{1}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot \xi_o \cdot \left(2 g \left(1 - \frac{T_o}{T_g} \frac{W_g}{W_o} \right) \right)^{1/2}} \quad (3.25)$$

bedeuten. Liegt die neutrale Ebene oberhalb der vertikalen Öffnung, so ist sie nach

$$[(h_D + h_o)^{3/2} - h_o^{3/2}] - C_1 (h' - h_o)^{1/2} = - C_2 \cdot \dot{R} \quad (3.26)$$

zu bestimmen. Sind mehrere vertikale Öffnungen unterschiedlicher Größe vorhanden, müssen gesonderte Überlegungen angestellt werden.

Der Sonderfall, daß die neutrale Ebene mit der Oberkante der vertikalen Öffnung zusammenfällt, wird von Yokoi [76] betrachtet. Die zugehörige Bedingungsgleichung lautet

$$(C_1 \cdot (h')^{1/2} - C_2 \cdot \dot{R}) \cdot h_D^{-3/2} = 1 \quad (3.27)$$

Unter Zugrundelegung der vereinfachenden Annahmen von Gl. (3.7) und $W_o = W_g$ erhält man daraus die von Yokoi angegebene Bemessungsformel für A'_w :

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{A'_w}{A_w} \cdot \left(\frac{T_o}{T_g}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{h'}{h_D}\right)^{1/2} = \frac{G}{L} \quad (3.28)$$

Auf Bild 3 ist Gl. (3.28) für zwei Gastemperaturen dargestellt. G/L wurde entsprechend Abschnitt 3.1.1 vorgegeben. Man erkennt anhand des Bildes, daß in der Praxis vergleichsweise große Dachöffnungen erforderlich sind, wenn die neutrale Ebene mit der Oberkante der vertikalen Öffnung zusammenfallen soll.

Die Wirkung der Dachöffnungen wird in DIN 18 230 in Anlehnung an schwedische Arbeiten [45] abgeschätzt. Im Prinzip kommen die Gl. (3.17) bis (3.22) zum Tragen, wobei jedoch die Vereinfachung gemäß Gl. (3.7) in Anspruch genommen wird. Die hier angegebenen verallgemeinerten Beziehungen sind allerdings vergleichsweise unübersichtlich, so daß die Auswirkungen der vorgenommenen Vereinfachungen nicht zu übersehen sind. Eine systematische Untersuchung des Problems dürfte in diesem Zusammenhang nützlich sein.

3.2. Nicht voll entwickelte Brände

3.2.1. Kleine - nicht voll entwickelte Brände

Die Gasströmung in Gebäuden wird im Fall des nicht voll entwickelten Brandes derzeit nahezu ausschließlich aufgrund von Arbeiten von Thomas und Hinkley [60 bzw. 62] berechnet. Zusammenfassende Darstellungen über die Voraussetzungen und Vereinfachungen der Theorie von Thomas und Hinkley sind in [35] und [73] zu finden. Insbesondere wird in der "Thomas"-Theorie [60] über die in Abschnitt 3.1.1 diskutierten Punkte hinaus von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Existenz einer Schicht heißer Gase unterhalb der Decke von konstanter Temperatur und Dichte,
- keine Wärmeabstrahlung an die Wände und Decke,
- keine Vermischung der heißen Gase mit der darunterliegenden Luftschicht,
- die Gasschicht befindet sich in einem quasistationären Gleichgewicht.

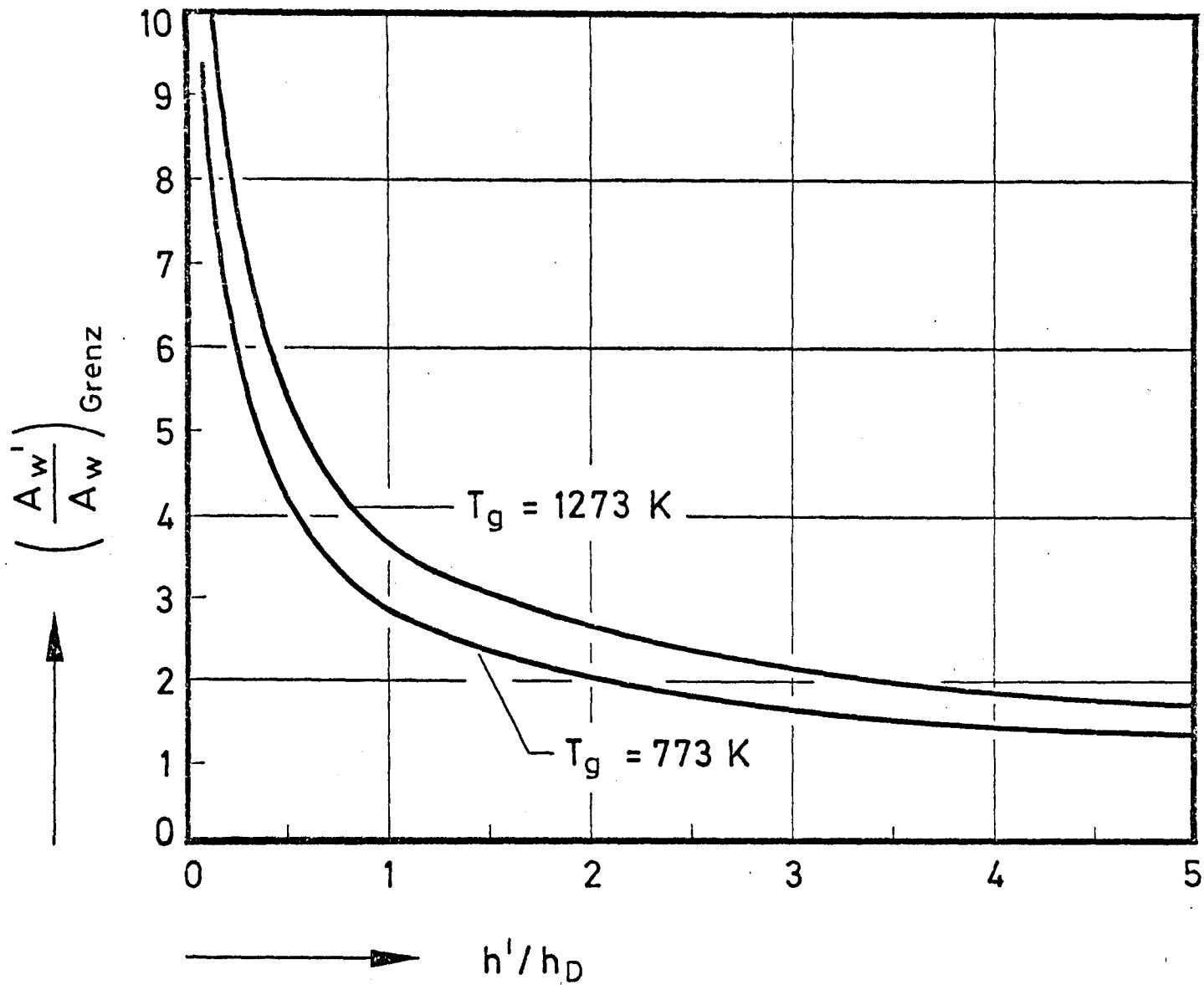


Bild 3: Grenzbedingung für das Zusammentreffen der neutralen Ebene mit der Oberkante der vertikalen Belüftungsöffnung

Für die Ausströmgeschwindigkeit v_g im Dach gibt Thomas [60] die Gleichung

$$v_g = \left(2 g \cdot \frac{T_g}{T_o} \cdot \int_{h_b}^{h_b+d_b} \frac{T_y - T_o}{T_y} dy \right)^{1/2} \quad (3.29)$$

an. Das Integral in (3.29) ist nach seinen Angaben anhand von Messungen zu

$$\int_{h_b}^{h_b+d_b} \frac{T_y - T_o}{T_y} dy = \frac{T_g - T_o}{T_g} \cdot d_b \quad (3.30)$$

bestimmt worden, so daß man für den Gasdurchsatz im Dach (vergl. Bild 4)

$$\dot{M}'_v = \mu \cdot A'_w \cdot \zeta_o \cdot \frac{T_o}{T_g} \cdot \left(2 g \cdot d_b \cdot \frac{T_g - T_o}{T_o} \right)^{1/2} \quad (3.31)$$

erhält. Diese Gleichung ist mit Gl. (3.20) identisch, d. h. die von Thomas angeführten Lösungen lassen sich durch Anwendung der Bernoulli-Gleichung auch formal herleiten. Experimentelle Untersuchungen sind dazu nicht erforderlich.

Für den Fall, daß keine unbegrenzte Zuluftmenge zur Verfügung steht, hat Heitmann [35] Gleichung (3.31) umformuliert, d. h. er hat zusätzlich den Druckverlust an der Zuluftöffnung berücksichtigt. Mit seiner Annahme

$$\dot{M}'_v = \dot{M}_i \quad (3.32)$$

erhält man dann

$$\dot{M}'_v = \frac{\mu \cdot A'_w \cdot \zeta_o \cdot (2 g \cdot d_b \cdot (T_g - T_o) \cdot T_o)^{1/2}}{\left(T_g \cdot (T_g + T_o \left(\frac{\mu \cdot A'_w}{\mu_i \cdot A_i} \right)^2) \right)^{1/2}} \quad (3.33)$$

Die Anwendung einer solchen Gleichung scheint im Prinzip berechtigt. Sie widerspricht jedoch den Voraussetzungen der Theorie von Thomas, weil danach der Gasaustausch ausschließlich zwischen Brandherd (fire plume) und Rauchgasschicht stattfindet. Die Massenbilanz wird nach [60] nämlich durch

$$\dot{M}'_b = \dot{M}_v + \dot{M}_s \quad (3.34)$$

angegeben. Der Druckverlust der Zuluft kann sich somit nur über \dot{M}_y bzw. \dot{M}_b am Gaswechsel auswirken.

Für \dot{M}_s wird von Thomas die Gleichung

$$\dot{M}_s = \frac{2}{3} \cdot \mu_s \cdot b_s \cdot (d_b - d_s)^{3/2} \cdot \frac{s_o \cdot T_o}{T_g} \cdot (2g \cdot \frac{T_g - T_o}{T_o})^{1/2} \quad (3.35)$$

angegeben. Diese Gleichung ist mit Gl. (3.3) praktisch identisch. Die Gleichungen des Gaswechsels beim nicht voll entwickelten Brand (3.31) und (3.35) stimmen somit mit denen des vollentwickelten Brandes (3.3) und (3.20) formal überein, sofern die Lage der neutralen Ebene mit der Grenzfläche Rauchgas-kalte Luft zusammenfällt. Der Grund dieser Übereinstimmung ist darin zu sehen, daß in beiden Fällen der Gaswechsel ausschließlich über die Bernoulli-Gleichung berechnet wird, wobei ein mit der Höhe linear veränderlicher Druck angenommen ist.

Der Gasstrom \dot{M}_b wird von Thomas [60] anhand der Arbeiten von Yih [74] abgeschätzt.

Für die Geschwindigkeit u_y in der Achse der heißen Gassäule (vergl. Bild 4) gilt danach

$$u_y = 4,7 \cdot \left(\frac{G^*}{s_g}\right)^{1/3} \cdot \frac{1}{r_y^{1/3}} \quad (3.36)$$

mit

$$G^* = \frac{Q_f}{c \cdot T_o} \quad (3.37)$$

worin Q_f die pro Zeiteinheit freigesetzte Gesamtwärme und c die Wärmekapazität der Gase bedeuten. Die von Thomas in [60] angegebene Gl. (20) ist übrigens falsch, weil im Nenner s_o anstatt s_g angegeben wird. Der Faktor 4.7 in

Gl. (3.36) beruht im übrigen auf ganz bestimmten Annahmen bezüglich der zugrunde gelegten Turbulenztheorie. Yih [74] geht in seiner Theorie offenbar von Ansätzen nach Prandtl aus, ohne jedoch näher zu beschreiben, welchen Mischungswegansatz er letztlich zur Berechnung der scheinbaren Schubspannungen er benutzt. Weiterhin setzt er bei der Lösung der entsprechenden Gleichungen einige Ähnlichkeitsbeziehungen an, die für solche Probleme üblicherweise als richtig angesehen werden. Die Kontinuitätsgleichung wird durch Einführung einer Stromfunktion integriert. Anstelle von 4.7 wird in den Arbeiten von Yokoi [75] übrigens ein Wert von 6.68 genannt.

Die in die heiße Gasschicht unterhalb der Decke eintretende Gasmenge ergibt sich zu

$$\dot{M}_b = 0,153 \cdot g \cdot \left(\frac{Q_f \cdot g}{c \cdot g \cdot T_o} \right)^{1/3} \cdot r_b^{5/3} \quad (3.38)$$

Mit

$$\dot{M}_b = \frac{Q_f}{c \cdot (T_g - T_o)} \quad (3.39)$$

erhält man daraus

$$\dot{M}_b = 0,043 \cdot g \cdot r_b^{5/2} \cdot \left(2 g \cdot \left(\frac{T_g}{T_o} - 1 \right) \right)^{1/2} \quad (3.40)$$

Aus den Gl. (3.31), (3.34), (3.35) und (3.40) ergibt sich schließlich die für Dachentlüftungen verwendete Formel

$$\mu \cdot A'_w \cdot d_b^{1/2} + \frac{2}{3} \cdot \mu_s \cdot b_s \cdot (d_b - d_s)^{3/2} = 0,043 \cdot r_b^{5/2} \quad (3.41)$$

Es ist zu beachten, daß diese Gleichung im wesentlichen auf die Arbeiten von Yih [74] zurückgeht, worin nur der konvektive Gasstrom infolge einer punktförmigen Wärmequelle betrachtet wird. Insbesondere wurde von Yih angenommen, daß

- die idealen Gasgesetze gelten,
- Druckänderungen zu vernachlässigen sind,
- Dissipationsenergien zu vernachlässigen sind,
- keine Strahlungswärme auftritt,
- die Prandtl-Zahl $\equiv 1,0$ ist und
- die Turbulenz nach dem Prandtl'schen Mischungswegansatz abgeschätzt werden kann.

Die Turbulenz-Theorie wurde an die Ergebnisse aus Untersuchungen mit Bunsenbrennern (!) angepaßt. Von Yokoi [75] wurden bei vergleichbaren Arbeiten übrigens kleine Alkoholflammen als Wärmequelle benutzt.

Es stellt sich die Frage, inwieweit sich solche Experimente und ihre Ergebnisse überhaupt auf reale Brände und alle möglichen Brandphänomene übertragen lassen. Bereits der Aufbau von Gl. (3.41) deutet an, daß darin von sehr groben Vereinfachungen ausgegangen wird. So ist über die Rauchentwicklung des betrachteten Brandes an sich darin auch nichts gesagt, d. h. es wird unterstellt, daß die Rauchentwicklung unabhängig vom betrachteten Brandgut ist und allein von einigen geometrischen Beziehungen abhängt.

Man sollte im Rahmen der laufenden und zukünftigen Arbeiten über den Rauch- und Wärmeabzug deshalb die Frage untersuchen, ob solche Vereinfachungen überhaupt vertretbar sind und diese in allen Fällen zu auf der sicheren Seite liegenden aber auch noch wirtschaftlichen Lösungen führen. Wenn man bedenkt, mit welcher Sorgfalt einerseits die Strömung durch Rauchabzugsklappen bestimmt wird, so müßten andererseits doch auch Anstrengungen unternommen werden, die Voraussetzungen, unter denen solche Vorgänge überhaupt von Bedeutung sind, zu überprüfen. Ein erster Schritt in diese Richtung könnte z. B. darin bestehen, die gesamte Strömungsliteratur über freie Konvektion einschließlich Strahlung zusammenzustellen und kritisch zu durchleuchten. Einzubeziehen wären dabei auch Arbeiten aus der Flammenforschung und verwandten Disziplinen.

3.2.2. Große - nicht voll entwickelte Brände

Für den Fall, daß der mittlere Durchmesser des Brandherdes etwa die halbe Höhe der Schicht klarer Luft über dem Boden übertrifft, ist nach den derzeitigen Regeln und Vorstellungen (vergl. Weinert [73], S. 31 ff) von folgender Gleichgewichtsbedingung auszugehen (vergl. Bild 5):

$$\dot{M}'_v + \dot{M}_s = \dot{M}_f + \dot{M}_i \quad (3.42)$$

Darin werden \dot{M}'_v und \dot{M}_s entsprechend Gl. (3.31) und (3.35) ermittelt. Für die Brennstoffmenge \dot{M}_f gilt allgemein

$$\dot{M}_f = \dot{R} \cdot A_f \quad (3.43)$$

worin \dot{R} die spezifische Abbrandgeschwindigkeit und A_f die Größe des Brandherdes bedeuten. Die Zuluftmenge \dot{M}_i , die zum Brandherd strömt, hängt von der Induktion der aufsteigenden heißen Gase ab. Sie wird von Thomas [60] in Anlehnung an die Arbeiten von Rouse et al. [57] gemäß

$$\dot{M}_i = b_s \cdot h_s \cdot \rho_o \cdot u_i \quad (3.44)$$

bestimmt, wobei unterstellt ist, daß kein Unterlaufen der Brandschürzen eintritt. Die mittlere induzierte Luftgeschwindigkeit ist durch

$$u_i = 0,096 \cdot (g \cdot h_s \cdot \rho_g / \rho_o)^{1/2} \quad (3.45)$$

vorgegeben. Auch hier ist zu bemerken, daß den von Rouse et al. [57] durchgeführten Untersuchungen keine Betrachtungen über Brände zugrunde liegen. Vielmehr ist darin das Problem der freien Konvektion über punkt- und linienförmigen Wärmequellen behandelt, wobei von den im vorhergehenden Abschnitt genannten Voraussetzungen ausgegangen wurde. Die Arbeiten gehen im übrigen auf ein militärisches Problem zurück. Sie stehen im Zusammenhang mit der Nebelbeseitigung über Flughäfen durch Wärmequellen - ein im 2. Weltkrieg vor Erfindung der Blindfluglandesysteme äußerst wichtiges und deshalb auch sehr intensiv behandeltes Problem.

Für den Fall, daß keine Rauchgase unterhalb der Brandschürze hervortreten, erhält man für $T_g = 1220$ K und $T_o = 293$ K aus Gl. (3.42), (3.43), (3.44) und (3.45) die von Thomas [60] angegebene Beziehung

$$A'_w = 0,13 \cdot b_s \cdot h_s^{3/2} / d_b^{1/2} + 6,0 \cdot \dot{R} \cdot A_f / d_b^{1/2} \quad (3.47)$$

In dieser Gleichung sind der Kontraktionskoeffizient μ zu 0,6 und die Dichte ρ_o zu $1,29 \text{ kg/m}^3$ angenommen. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Allgemeinheit der vorstehenden Gleichung sei auf die abschließenden Bemerkungen des vorstehenden Abschnitts 3.2.1 verwiesen.

3.2.3. Theorie nach Prahl und Emmons

In einer neueren Arbeit wird von Prahl und Emmons [52] für den Fall "Großer Brandräume" ein neues Modell für den Gaswechsel vorgeschlagen. Dazu ist der Brandraum gemäß Bild 6 in 4 Bereiche unterteilt.

Eine sog. Diskontinuitätsfläche trennt den Bereich I, die Heißgasschicht der Temperatur T_g , vom Bereich II, in dem sich die durch die Öffnung einströmenden Kaltgase befinden, ab.

Bereich III stellt den "Feuer-Plume" dar; dies ist der Raum, den die Flammen mit der Temperatur T_p unterhalb der Diskontinuitätsfläche einnehmen.

Bereich IV bezeichnet die verbrannte Brandlast mit der Oberflächentemperatur T_s .

Für den Fall, daß keine Luft einströmt ($\dot{M}_L = 0$) kann der Gasaustritt (\dot{M}_g) in Analogie zur Strömung von Wasser über ein Wehr wie folgt berechnet werden.

Die potentielle Energie des Wassers (gegeben durch die Höhe der Wasseroberfläche über dem Wehr $h_o + \delta$ und seine Dichte ρ_g) wird in kinetische Energie umgewandelt.

$$\frac{v_g^2}{2} = \frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_g} (h_o + \delta - y) \cdot g \text{ bzw.}$$
$$v_g = \left(2 g \cdot \left(\frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_g} \right) \cdot (h_o + \delta - y) \right)^{1/2} \quad (3.48)$$

Dieses Ergebnis wird direkt auf die ausströmenden Gase übertragen. Entsprechend den Bezeichnungen in Bild 6 gilt für die Geschwindigkeit der ausströmenden Gase:

$$v_g(y) = \left(2 g \cdot \left(\frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_g} \right) \cdot (h_o + \delta - y) \right)^{1/2} \quad (3.49)$$

Für den Massenstrom gilt dann:

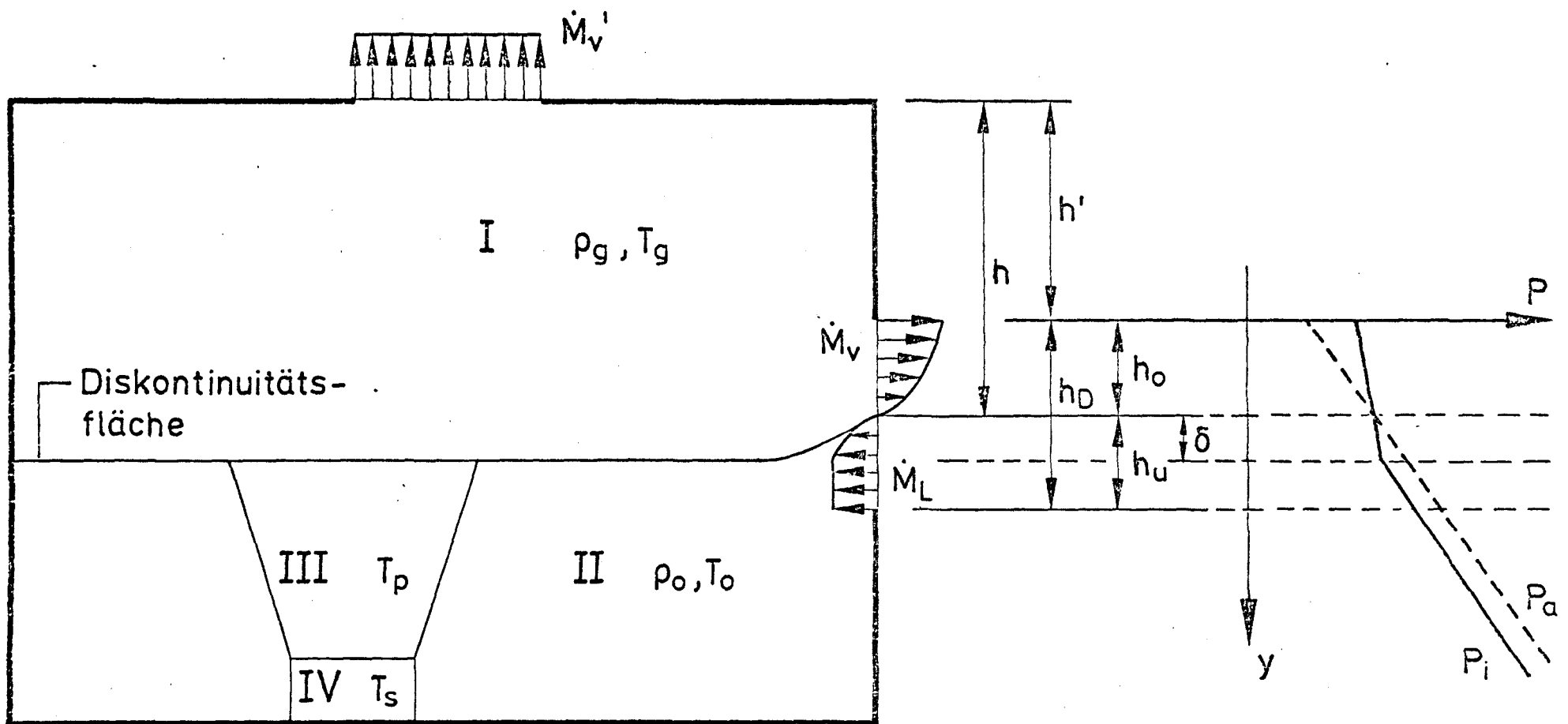


Bild 6: Gaswechsel im Brandraum nach der Theorie von Prahl und Emmons

$$\dot{M}_V = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot (2 g \cdot \rho_g \cdot (\rho_o - \rho_g))^{1/2} \cdot ((h_o + \delta)^{3/2} - \delta^{3/2}) \quad (3.50)$$

Dieses Ergebnis erhält man wie vorausgesetzt für den Fall $\dot{M}_L = 0$. Für den Fall $\dot{M}_L \neq 0$ muß man berücksichtigen, daß es im Gleichgewichtsfall an der Stelle, wo sich einströmende und ausströmende Gase tangieren, keine Druckdifferenz geben darf. Mit dieser Annahme erhält man das auf Bild 6 gezeichnete Druckprofil in der Fensteröffnung. Damit ergibt sich oberhalb $y = h_o$ das gleiche Druckprofil wie im Fall kleiner Brandräume, und man erhält für v_g und \dot{M}_V :

$$v_g = (2 g \cdot \frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_g} \cdot (h_o - y))^{1/2} \quad (3.51)$$

$$\dot{M}_V = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot (2 g \cdot \rho_g \cdot (\rho_o - \rho_g))^{1/2} \cdot (h_o)^{3/2} \quad (3.52)$$

Diese Gleichungen sind mit Gl. (3.1) und (3.3) identisch. Für die Geschwindigkeit der einströmenden Gase muß man zwei Bereiche unterscheiden:

$$\begin{aligned} v_o(y) &= (2 g \cdot \frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_o} \cdot (-h_o + y))^{1/2} \quad \text{für } h_o < y \leq h_o + \delta \\ v_o(y) &= (2 g \cdot \frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_o} \cdot \delta)^{1/2} \quad \text{für } h_o + \delta < y < h_D \end{aligned} \quad (3.53)$$

Für \dot{M}_L folgt daraus:

$$\dot{M}_L = \mu \cdot B \cdot \rho_o \cdot (2 g \cdot \frac{\rho_o - \rho_g}{\rho_o})^{1/2} \cdot \delta^{1/2} \cdot (h_u - \frac{1}{3} \delta) \quad (3.54)$$

Man beachte, daß für $\delta = h_u$ Gl. (3.54) in Gl. (3.4), die den Vollbrand in kleinen Räumen beschreibt, übergeht. Weiterhin ist zu beachten, daß für $\delta = 0$ kein Lufteintritt möglich ist! Zu den Gl. (3.52) und (3.54) ist allerdings folgendes zu bemerken:

Der lineare Druckansatz im Bereich der Fensteröffnung beruht auf der Annahme eines statischen Gleichgewichts zwischen Druck und Schwerkraft. Er bedingt horizontale Stromlinien. In dem oben beschriebenen Modell sind die Stromlinien aber nicht horizontal angesetzt. Ein Maß für die Krümmung der Stromlinien ist δ . Die Diskontinuitätsebene selbst stellt eine Stromlinie dar.

Der Gültigkeitsbereich der obigen Berechnungen erstreckt sich also nur auf den Bereich, wo δ klein ist! Das obige Modell enthält also die Diskrepanz der Annahme gekrümmter Stromlinien bei einem linearen Druckansatz.

Der Grenzübergang von diesem Modell zum "Vollbrand in kleinen Brandräumen" ist nicht möglich, da dazu $\delta \geq h_u$ sein müßte. Dieser grundsätzliche Mangel wurde von Prahl und Emmons [52] auch erkannt. Sie schreiben nämlich, daß bei δ voraussichtlich rasch sehr groß wird und man deshalb im Prinzip mit der Vollbrandtheorie (vergl. Abschnitt 3.1) ausreichend genaue Ergebnisse erhalten kann. Eine Anwendung dieser Theorie im Fall kleiner Brände ist jedoch vorstellbar. Allerdings wird in der zitierten Arbeit nicht deutlich, wie die zusätzliche Unbekannte δ zu bestimmen ist.

Der Gasaustritt in den Dachöffnungen wird von Prahl und Emmons [52] nicht gesondert behandelt. In Anlehnung an die bereits diskutierte Gleichung (3.20) erhält man

$$\dot{M}'_v = \mu \cdot A'_w \cdot \rho_g \cdot \left(2 g \frac{(\rho_o - \rho_g)}{\rho_g} \cdot (h + \delta) \right)^{1/2} \quad (3.55)$$

Diese Formel setzt allerdings voraus, daß die neutrale Ebene immer mit der Diskontinuitätsfläche zusammenfällt. Bei großen Werten für δ ergeben sich somit wesentlich größere Rauchgasmengen im Dach als z. B. gemäß Gl. (3.20). Die Gleichungen widersprechen sich. Es zeigt sich auch hier, daß zukünftig noch erhebliche Anstrengungen erforderlich sind, um ein in sich konsistentes Strömungsmodell für den voll und den nicht voll entwickelten Brand zu erstellen.

4. Anwendungen hinsichtlich DIN 18 230

Die im Abschnitt 3 beschriebenen Theorien können bezüglich DIN 18 230 nur indirekt zu bestimmten Aussagen herangezogen werden, weil der in der Normvorlage eingeführte Wärmeabzugsfaktor w proportional der äquivalenten Branddauer ist und es derzeit nur wenige theoretische Ansätze gibt, mit deren Hilfe gezeigt werden könnte, daß diese Annahme unter Zugrundelegung einer der

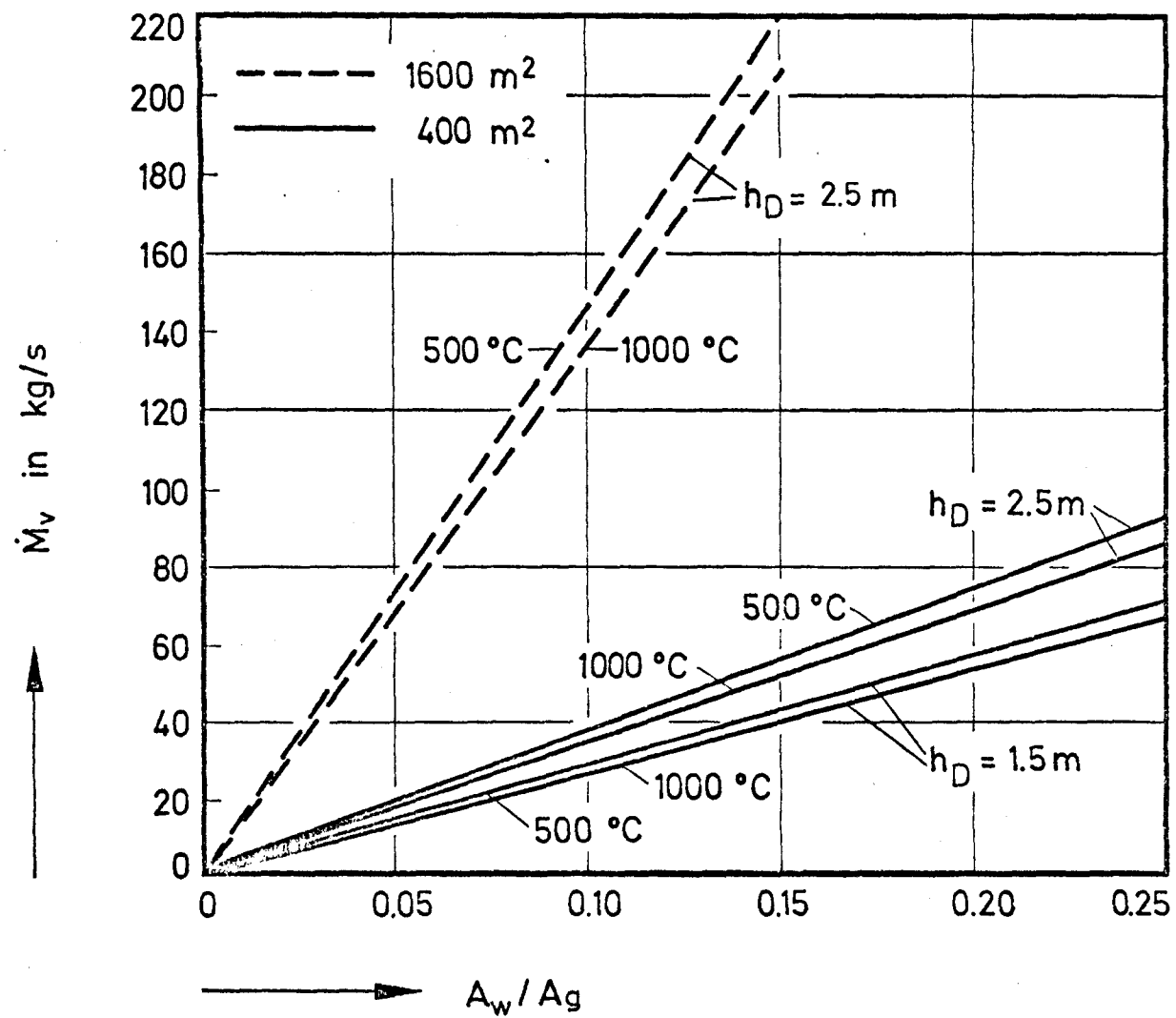


Bild 7: Rauchgasmengen bei einem Vollbrand in Hallen ohne Dachentlüftung

vorgestellten Theorien immer zutrifft. Qualitativ läßt sich jedoch sagen, daß sich aus allen Theorien eine Proportionalität zwischen den Gasmengen und Öffnungsflächen ergibt, wie sie indirekt auch in DIN 18 230 angenommen wird. Insoweit ist also eine Übereinstimmung feststellbar. Es wird abzuwarten sein, ob die begonnenen gemeinsamen experimentellen und theoretischen Arbeiten des MPA-Dortmund und des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Braunschweig, diese Übereinstimmung auch quantitativ bestätigen können.

Für den Fall der voll entwickelten Brände soll an einigen Beispielen gezeigt werden, welche Eigenschaften die aufgestellten Gleichungen besitzen. Untersucht werden hier nur die Gl. (3.9) und (3.20). Unter Verwendung von Gl. (3.8) erhält man aus (3.9) für zwei willkürlich angenommene Brandraumgrößen die auf Bild 7 angegebenen, aus den Brandräumen strömenden Gasmengen. Die Gasmengen sind mit dem Öffnungsverhältnis A_w/A_g linear verknüpft. Bei gleicher Fensterhöhe hängen die Gasmengen nur von der Gastemperatur und der Größe des Brandabschnitts ab. Der Temperatureinfluß ist jedoch überraschend gering. Die Fensterhöhe hat einen vergleichbaren Einfluß.

Bei Vorhandensein einer Dachentlüftung ändern sich die Verhältnisse gemäß Bild 8 und 9. Bild 8 bezieht sich auf einen kleinen Brandraum mit 400 m^2 Grundfläche. Infolge der Dachentlüftung verschiebt sich die Mengenstromgerade nach oben, d. h. die ausströmenden Gasmengen nehmen wie erwartet zu. Die geometrischen Verhältnisse sind selbstverständlich so gewählt, daß die Grenzbeziehung gemäß Bild 3 nicht erreicht wird. Durch eine Koordinatentransformation gehen die drei Geraden von Bild 8 übrigens in eine einzige Gerade über. Man muß die A_w/A_g -Achse lediglich durch die Koordinate $A_w/A_g + x \cdot A'_w/A_g$ ersetzen. Der optimale x-Wert liegt bei 2,48, d. h. die horizontale Dachentlüftung wirkt theoretisch 2,48-mal besser als eine äquivalente vertikale Fensterentlüftung. Gemäß Bild 1 auf Seite 8 von DIN 18 230 Teil 1, Entwurf August 1978, erhält man übrigens $k_f = 2,5$, s. auch [59]; d. h. die in der Normvorlage vorgesehene Bewertung der Dachflächen stimmt mit dem hier berechneten Wert überein.

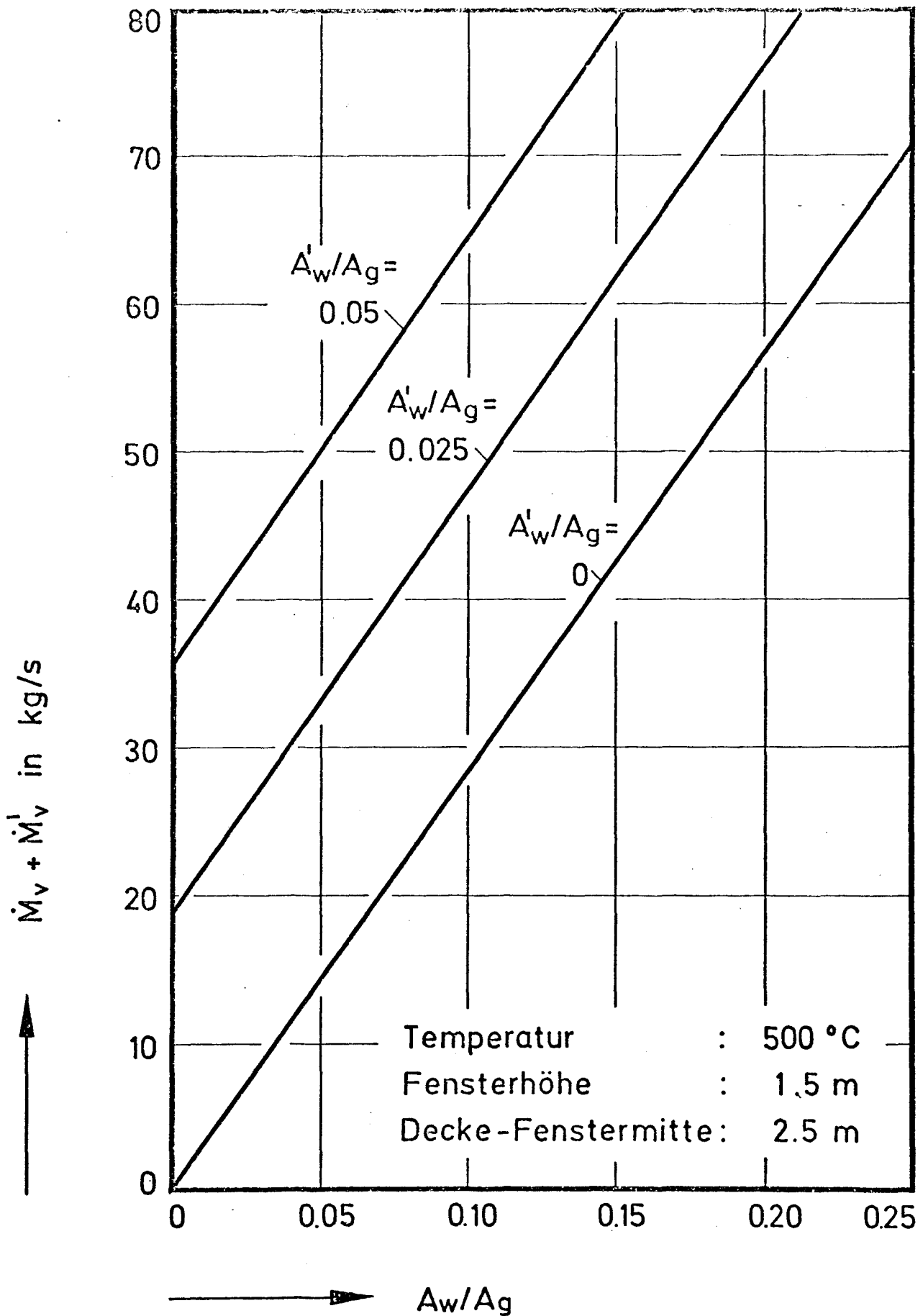


Bild 8: Rauchgasmenge bei einem Vollbrand in einer 400 m²-Halle mit Dachentlüftung

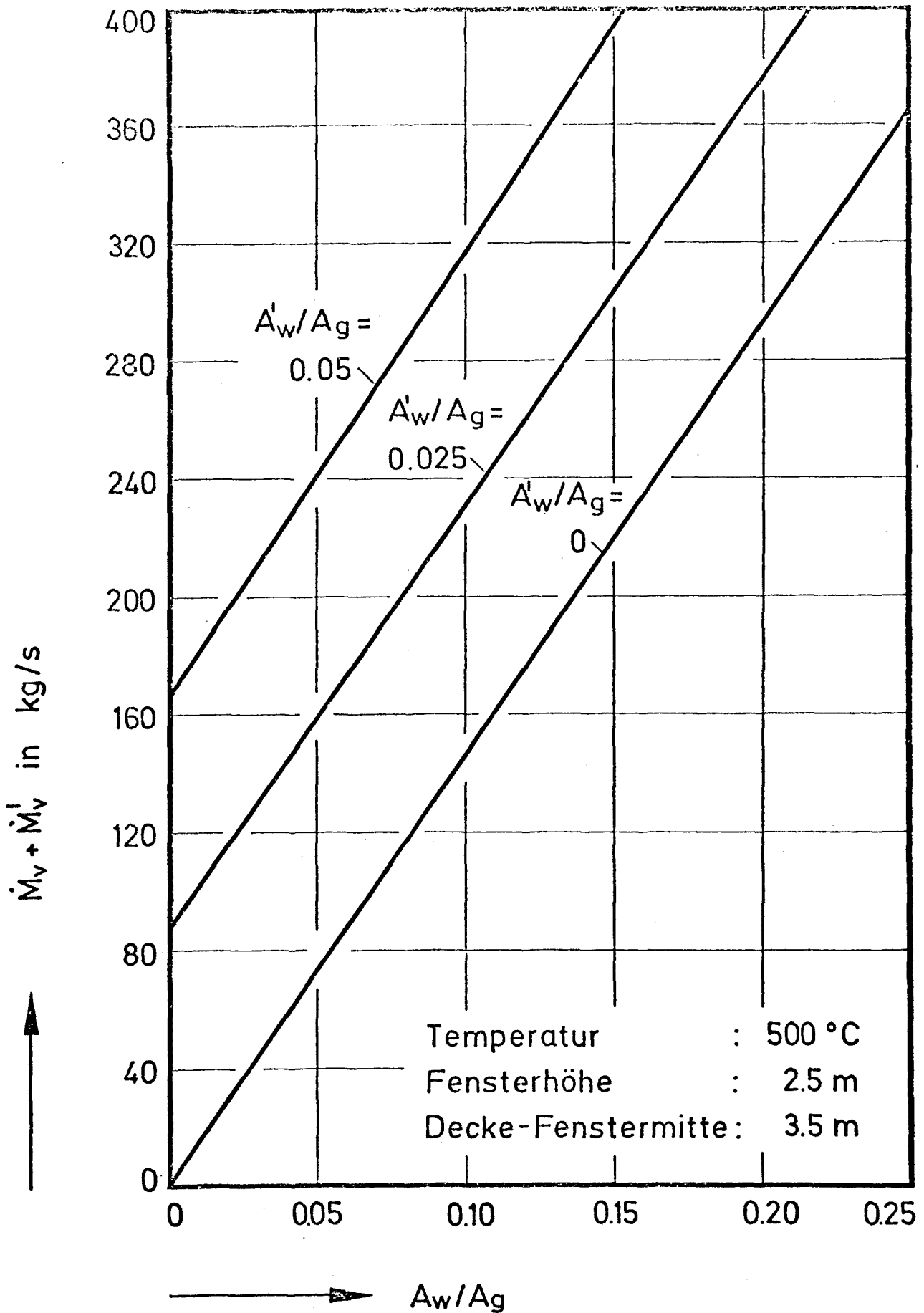


Bild 9: Rauchgasmengen bei einem Vollbrand in einer 1600 m²-Halle mit Dachentlüftung

Bild 9 zeigt die Verhältnisse in einer 1600 m^2 großen Halle. In diesem Fall ergibt sich für die Koordinatentransformation ein x -Wert von 2,28. Gemäß DIN 18 230 Teil 1, S. 8, Bild 1 erhält man in guter Übereinstimmung $k_f = 2,30$. Zu beachten ist, daß der Abstand Decke - Fenstermitte bei der Bestimmung von k_f bzw. x stark in das Ergebnis eingeht.

Aus den vorstehenden Berechnungen lassen sich zusätzlich einige allgemein interessante Ergebnisse gewinnen, wenn man die Gasströme als Funktion des Parameters A'_w/A_w betrachtet. Am Beispiel der 400 m^2 großen Halle (Bild 10) wird deutlich, daß der Gasstrom bei Einbau einer Dachentlüftung bis zu dem Verhältnis $A'_w/A_w \leq 1,0$ vergleichsweise rasch ansteigt. Oberhalb dieses Wertes sind dagegen nur noch geringe Verbesserungen im Gaswechsel zu erwarten. Bild 11 ($A_g = 1600 \text{ m}^2$) bestätigt diese Beobachtung. Weiterhin zeigt sich, daß sich die Dachentlüftung vor allem bei kleinen Werten von A_w/A_g günstig bemerkbar macht. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den bei Bränden gewonnenen Erfahrungen. Bezogen auf die Kosten eines Bauwerks wäre es sinnvoll auszurechnen, bei welchem Wert von A'_w/A_w ein Minimum an Baukosten entsteht, wenn man $\dot{M}_v + \dot{M}'_v$ als konstant annimmt. Solche Berechnungen sind naturgemäß jedoch nicht Gegenstand dieses Berichts.

5. Schlußfolgerungen

Der vorliegende Bericht enthält eine Sichtung und Wertung einiger wesentlicher Veröffentlichungen, die sich mit dem Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden befassen. Es wurde festgestellt, daß die vorliegenden Arbeiten inhaltlich vergleichsweise heterogen sind und sich, angefangen von grundlegenden Betrachtungen über Strömungsvorgänge in unendlichen Gaskörpern infolge einer Wärmequelle, bis hin zur praktischen Dimensionierung von Rauchabzugsklappen in Gebäuden befassen. Insofern ist eine gemeinsame Behandlung der Arbeiten kaum möglich.

Der vorliegende Bericht behandelt deshalb vorzugsweise solche Arbeiten und Untersuchungen, in denen der Gaswechsel in Gebäuden bei Bränden theoretisch betrachtet wird. Dadurch wird der Umfang und Inhalt der Untersuchung gezielt eingeschränkt. Dieses schien vor allen Dingen auch deshalb notwendig und vorteilhaft, weil eine vergleichbare Arbeit dieser Art bisher nicht vorliegt.

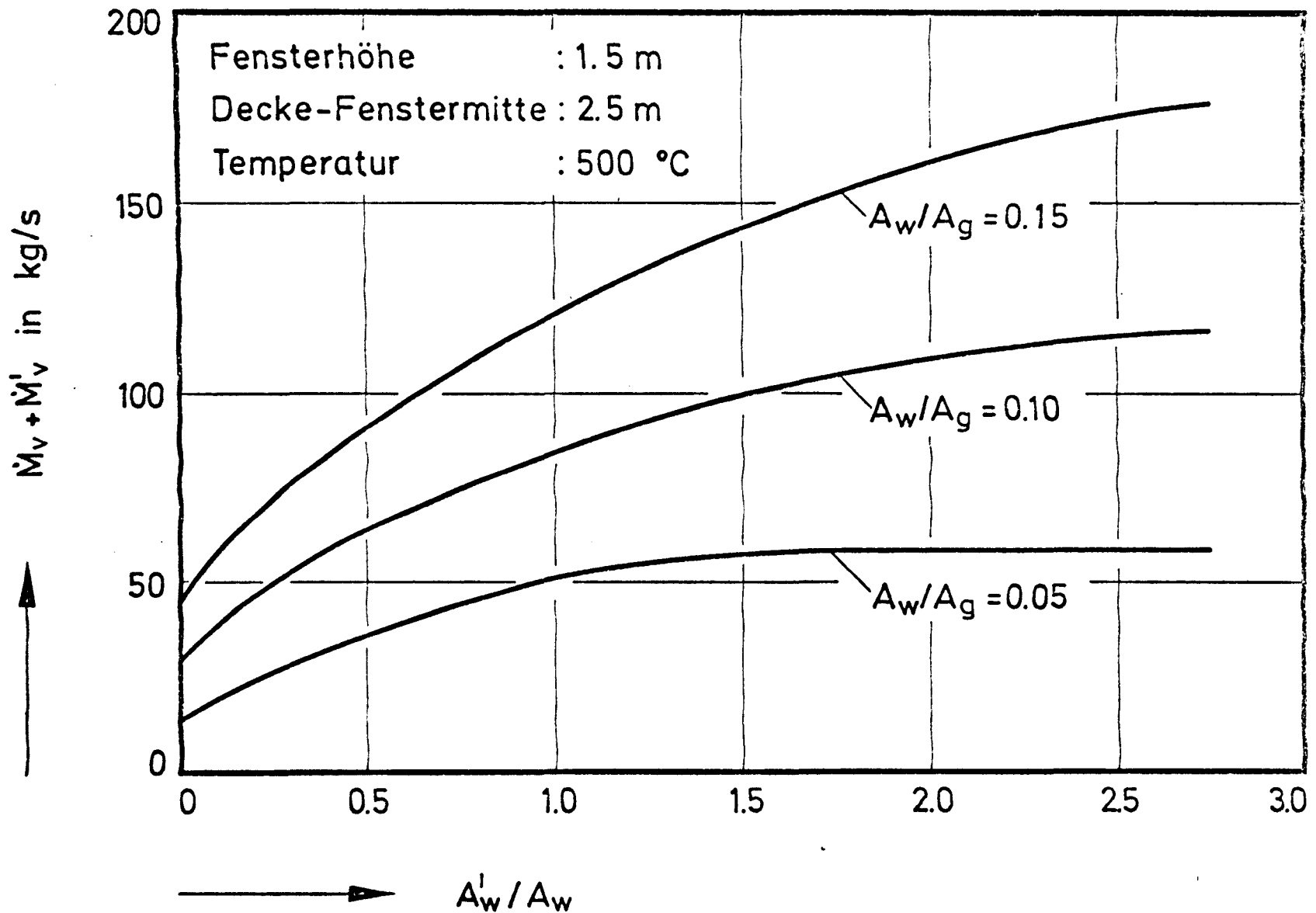


Bild 10: Ausströmende Gasmenge aus einer 400 m²-Halle mit Dachentlüftung

Die derzeit bekannten Theorien über den Gaswechsel in Gebäuden sind im Abschnitt 3 dieser Studie zusammengestellt. In allen Ansätzen wird die Gültigkeit der Bernoulli-Gleichung angenommen. Dieses führt bei allen Modellen zu bestimmten Übereinstimmungen in den Endformeln, wobei jedoch festzustellen ist, daß die Formeln für den nicht voll entwickelten Brand beispielsweise im Grenzfall, d. h. mit zunehmender Brandausbreitung, nicht ohne weiteres in die Formeln des Vollbrandes übergehen. Erste Ansätze (Theorie von Prahl und Emmons) in dieser Richtung liegen vor, sie sind gegenwärtig jedoch noch nicht zufriedenstellend.

Im Hinblick auf die Dimensionierung von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen ist es etwas verwunderlich, daß sich alle bekannten Dimensionierungsvorschriften an eine einzige theoretische Arbeit anlehnen und die darin angegebenen, kaum nachprüfbaren Beziehungen als Rechenvorschrift benutzen. Man kann dies nur so erklären, daß die so gefundenen Bemessungsgrößen sich in der Praxis, d. h. im Brandfall als ausreichend erwiesen haben. Ob damit sinnvolle und wirtschaftlich optimale Lösungen erzielt werden, bleibt dahingestellt. Die aus der Theorie entwickelten Beziehungen können durchweg (ideales Gas) auch nicht unterscheiden, ob es im Brandfall stark oder weniger stark qualmt. Eine betrübliche - für die Dimensionierung von Rauchabzugsanlagen nicht ohne weiteres einsehbare Eigenschaft.

An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, daß das Phänomen 'Brand' nach wie vor theoretisch weitgehend unbewältigt ist, so daß alle diesbezüglichen Untersuchungen zwangsläufig mit sehr vereinfachten Grundannahmen verbunden werden müssen. Es sind somit auch in Zukunft noch große Anstrengungen erforderlich, um die anstehenden Fragen wissenschaftlich zu klären. Man sollte sich dessen immer bewußt sein, vor allen Dingen auch dann, wenn in Normungsgremien über brandschutztechnische Detailfragen diskutiert wird. Ohne die Ergebnisse entsprechender Grundsatzuntersuchungen sind viele Dinge derzeit nur pauschal regelfähig, wobei man davon ausgehen muß, daß solche Regelungen naturgemäß häufig weit auf der sicheren und damit u. U. unwirtschaftlichen Seite liegen.

Im Hinblick auf die Anwendung der aufgezeigten Zusammenhänge über den Rauch- und Wärmeabzug in DIN 18 230 wurde gezeigt, daß bestimmte Annahmen in der Norm im Rahmen der bestehenden, stark vereinfachenden Theorien gut begründet

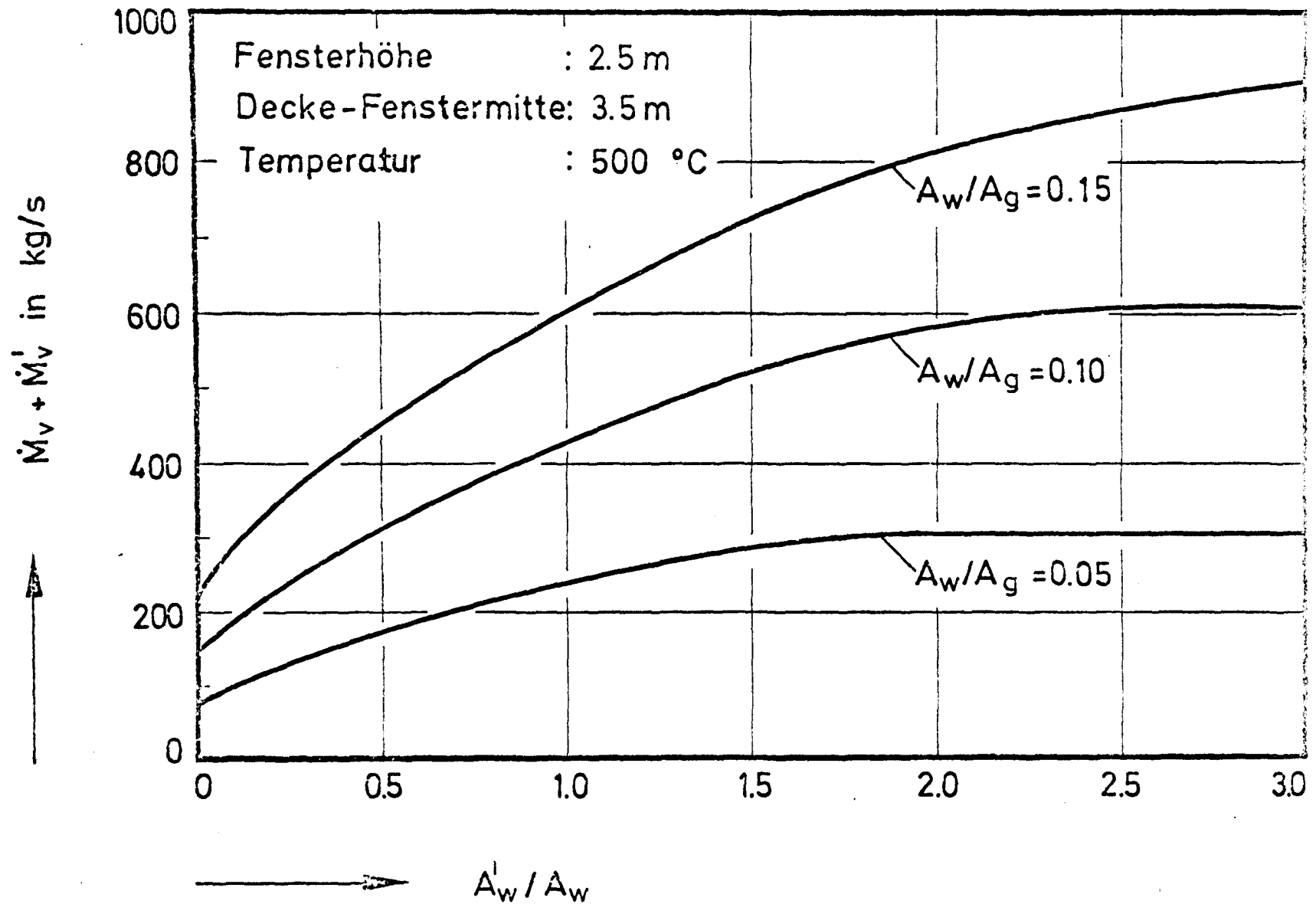


Bild 11: Ausströmende Gasmengen aus einer 1600 m²-Halle mit Dachentlüftung

sind. Es muß jedoch davon ausgegangen werden, daß damit nicht alle Fragen geklärt sind. Das liegt vor allen Dingen daran, daß sämtliche Modellvorstellungen bzw. Theorien über den Gaswechsel bei Bränden von einem statischen Gleichgewichtszustand ausgehen. Erst weiterführende Untersuchungen, z. B. mit Hilfe von Wärmebilanzberechnungen, können darüber Aufschluß geben, ob solche Annahmen grundsätzlich gerechtfertigt sind.

Es empfiehlt sich angesichts der vorliegenden Forschungsergebnisse und -lücken, grundsätzlich die Frage, im Rahmen welcher Arbeiten und Institutionen die aufgezeigten Probleme zukünftig bearbeitet und geklärt werden sollen, zu behandeln. Die Durchführung mehrerer kleinerer Vorhaben erscheint zweckmäßig, verspricht bezüglich der Gesamtproblematik jedoch keine ausreichende Basis. Sinnvoll erscheint die Ausarbeitung eines Gesamtkonzepts, das unter Beteiligung mehrerer Institutionen durchzuführen wäre, wobei vorab die Organisations- und Finanzierungsform geklärt werden müßte.

6. Schrifttum

- [1] A e r o d y n a m i s c h e s Versuchsfeld: Beschreibung der MBB-UH-Prüfanlage zur Bestimmung der wirksamen Öffnungsfläche von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen. MBB - Hamburg, (1974).
- [2] A r n a u l t , P., et al.: Rapport Experimental Sur Les Essais Avec Des Feux Naturels Executes Dans La Petite Installation. Maizieres-Les-Metz, (Juin 1973).
- [3] B a r r e t t , R.E., D.W. Locklin: A Computer Technique For Predicting Smoke Movement In Tall Buildings. Fire Technology, Vol. 5, No. 4, Nov. (1969).
- [4] B e r i c h t Nr. 7: Rauch- und Wärmeabzugsanlagen in einstöckigen Gebäuden. Bericht über von der Fire Research Station Boreham Wood in Zusammenarbeit mit Colt International durchgeführte Untersuchungen. Fire Research Technical Paper No. 5.
- [5] B e w e g u n g von Rauch und Verbrennungsgasen: Task Group of Subcommittee IV of ASTM Committee E-5 on Fire Tests of Materials and Construction. The Control of Smoke in Building Fires - A-State-of-the-Art Review. Materials Research and Standards, Vol. 11, No. 4 (1971).
- [6] B u b, H., W. Halpaap: Baulicher Brandschutz im Industriebau - Stand der Arbeiten am Normblatt DIN 18 230. Sonderdruck aus der VFDB-Zeitschrift, Heft 3/1962. W. Kohlhammer-Verlag, Stuttgart (1962).
- [7] B u i l d i n g R e s e a r c h Establishment Digest: Smoke control in Single-storey shopping malls; H. 173; Jan. (1975).
- [8] B u t c h e r , E.G., et al.: Comparision between furnace tests and experimental fires. Her Majesty's Stationary Office, Symposium Nor. 2, London, (1967).
- [9] B r o w n , W.G.: Natural Convection Through Rectangular Openings in Partitions-2 (Horizontal Partitions). Int. J. Heat Mass Transfer Vol. 5 pp. 869 - 878, Pergamon Press (1962).
- [10] C h i a - S h u n - Y i h : Free Convection due to a point Source of Heat; Civil Engineering Department, Colorado, Agricultural and Mechanical College, S. 941 - 947.
- [11] C o l t International: Colt-Feuerlüftung, die wirksame Methode zur Bekämpfung von Industriebränden.
- [12] C o l t International: Optimale Luftverhältnisse am industriellen Arbeitsplatz; Sprint Offset Wesel, B 001/7/75.
- [13] C o l t International: Automatische Brandlüftung schützt Menschenleben und Millionenwerte in der Industrie, Kleve.
- [14] C o l t International:
 - a) Untersuchungsreport
 - b) Projekt-Analyse und Lösungsvorschlag
 - c) Entwurf von automatischen Feuerlüftungssystemen für einstöckige Gebäude.Colt International, Kleve.

- [15] D a l h o f f , W., H. Spitzlei, G. Johansson: Transparente Chemiewerkstoffe im Brandtest; ZVFDB 4/75; S. 149 - 154, Verlag W. Kohlhammer, (1975).
- [16] E s s e r , K.: Vorbeugender Brandschutz
- [17] E s s e r s kleine Handbuch-Reihe: Gefährlicher Brandrauch. Rauchabzugsberechnung nach Gebäudebenutzung und Brandbelastung.
- [18] E s s e r , K., C.H. Timmerberg: Im Brandfall Entlüftungsprobleme? Planung und Berechnung von Rauchabzugsanlagen; Brandschutz-Technik. Zeitschriftenverlag Kultur und Wissen GmbH., (1972).
- [19] E s s e r , K.: Das Sicherheitssystem; Vorbeugender Brandschutz. Esser-Produkte, Klaus Esser KG. Düsseldorf (1973).
- [20] E s s e r , K., KG: Zusammenstellung der wesentlichen Voraussetzungen/Vereinfachungen/Vernachlässigungen in der Theorie von Thomas + Hinkley zur RWA-Bemessung. Technical-Paper Nr. 7, Fire Research Station, July (1974).
- [21] F a c t o r y M u t u a l R e s e a r c h : Genehmigungsnorm für Rauch- und Wärmeabzüge, Norm 4430. Factory Mutual Research Corporation, August (1969).
- [22] Fire Protection Review: Automatische Brandentlüftung in Industriebauwerken (von der Fa. Colt zur Verfügung gestellt), January (1973).
- [23] F i r e R e s e a r c h S t a t i o n : Design of Pressurisation System for Smoke Control; Bre information IS 16/75, July (1975).
- [24] F i r e S u r v e y o r : The performance of the Sprinkler in the Extinction of Fire; Vol. 3, Nr. 1, February (1974).
- [25] F i r e V e n t i l a t i o n C o m m i t t e e : Fire Ventilation, Factories and warehouses; The Swedish Fire Protection Association; Stockholm (1973).
- [26] Übersetzung von Abl. 25.
- [27] FNBau Fachnormenausschuß Bauwesen im Deutschen Normenausschuß, Der Geschäftsführer. Fachnormenausschuß Bauwesen, Berlin (1973).
- [28] H a l p a a p , W.: Vorbeugender baulicher Brandschutz im Industriebau nach Punkten. Zentralblatt für Industriebau, Bd. 7, S. 18 - 30, Januar (1961).
- [29] H a l p a a p , W.: Ermittlung der Brandklasse bei Industriebauten. Entwurf DIN 18 230 (Juni 1968) mit Erläuterungen. Brandschutz, Deutsche Feuerwehr-Zeitung. Sonderdruck aus den Heften 8, 9, 11, 12 (1968). Verlag W. Kohlhammer GmbH.
- [30] H a l p a a p , W.: Läßt sich die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen theoretisch oder bei Modellbrandversuchen ermitteln? Braunschweig (1964).

- [31] H i n k l e y , P.L., C.R.Theobald: PVC rooflights for venting fires in single-storey buildings (PVC Dachoberlichter zum Entlüften bei Bränden in Gebäuden mit einem Stockwerk). Fire Research Technical Paper No. 14, London (1966).
- [32] H i n k l e y , P.L.: Some Notes of the control of smoke in enclosed shopping centres (Aufzeichnungen über die Rauchüberwachung in geschlossenen Einkaufszentren). Fire Research Note No. 875, London (1971).
- [33] H i n k l e y , P.L.: Work by the Fire Research Station on the control of smoke in covered shopping centres; Building Research Establishment Current Paper. CP 83/75. Sept. (1975).
- [34] H e i t m a n n : RWA-Bemessung - Zuluft und Abluft bei RWA. Abhängigkeiten nach der Theorie von Thomas und Hinkley.
- [35] H e i t m a n n : Zusammenstellung der wesentlichen Voraussetzungen/Vereinfachungen/Vernachlässigungen in der Theorie von Thoms und Hinkley zur RWA-Bemessung, d. h. im Ableitungsgang zu den Formeln Nr. 30 und Nr. 31 nach Literatursteller Nr. 18.
- [36] J a c h , W.: Großbrand in einem Verbrauchercenter. Schadenprisma 2/72; S. 33 - 35, (1972).
- [37] K a w a g o e , K.: Fire Behaviour in Rooms; The Building Research Institute, Ministry of Construction; No. 27; Sept. (1958).
- [38] K a w a g o e , K.: Estimation of fire temperature-time-curve in rooms. Research Paper No. 29, Building Research Institute, Tokyo (1967).
- [39] K a w a g o e , K., T.Sekine: Estimation of fire temperature-time-curve in rooms. Occasional Report No. 11, Building Research Institute, Tokyo (1963).
- [40] K e m p e , K.: Sonderdruck aus der Zeitschrift "Schadensprisma" Nr. 3/72. Rauch- und Wärmeabzugsanlagen - Bericht über eine allgemein anwendbare Richtlinie und praktikable Bemessungsregeln, (1972).
- [41] K l i n g e l h ö f e r , H.G.: Wirksamkeit von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen; Forschungsauftrag des Instituts für Bautechnik in Berlin, Gesch.Z. IV/1-5 51/74 (1974).
- [42] K o o g , A.: Sprinkler Heads Nullify Smoke Vents in Warehouse Fire; Fire Engineering; Oxnard, Calif., January (1972).
- [43] K o r d i n a , K., L. Krampf, H.F.Seiler: Über den Großbrand bei der Firma Linde, Mainz-Kostheim, Januar 1971. Deutscher Beton-Verein. Beton- und Stahlbetonbau, H. 5 und 6, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, (1972).
- [44] L i c h t e n b e r g , Fr.: Industriebau-Richtlinien-Entwurf; Deutscher Stahlbau-Verband; Oktober (1973).
- [45] M a g n u s s o n , S.E., S. Thelandersson: Temperature-Time-Curves of Complete Process of Fire Development. Theoretical Study of Wood Fuel Fires in Enclosed Spaces. Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction Series. No. 65, Stockholm (1970).

- [46] M a g n u s s o n , S.E., S. Thelandersson: Comments on Rate of Gas Flow and Rate of Burning For Fires in Enclosures. Bulletin No. 19 of the Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Lund Institute of Technology, Lund/Schweden, (1971).
- [47] M e y e r , H.U., DfVUR-AVA, Bunsenstr. 10: Theoretischer Luftwechsel in einer Halle. Göttingen, März (1977).
- [48] M e y e r , H.U.: Über die Wirkungsweise, Auslegungsprobleme und Prüfungen von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA); VFDB-Zeitschrift 2/76, Verlag W. Hohlhammer GmbH., Stuttgart (1976).
- [49] O b u c h o w , F., Moskau: Erforschung der Brandentwicklung und der Probleme der Automation des Brandschutzes.
- [50] Ö d e e n , U.: Theoretical Study of Fire Characteristics in enclosed Spaces. Bulletin No. 10. Division of Building Construction, Royal Institute of Technology, Stockholm, (1963).
- [51] Ö d e e n , U.: Experimental and Theoretical Study of the Process of Fire Development in Buildings. Report No. 23/1968 from the National Swedish Institute for Building Research.
- [52] Prahl, J., und H.W. Emmons: Fire Induced Flow Through an Opening. Combustion and Flame 25, S. 369 - 385, (1975).
- [53] P y l e , W.C.: Smoke control by mechanical ventilation; Fire International 50, Canada; S. 24 - 36.
- [54] R e i t m a n n : Kritische Betrachtungen zu den Bemessungsfragen für Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) unter besonderer Berücksichtigung verschiedener RWA-Systeme und des Verhältnisses von Zuluft- und Abluftflächen
- [55] R e u t e r , H.: Neue Richtlinien auf dem Gebiet des Vorbeugenden Brandschutzes; Colt International GMBH; Zentralblatt für Industriebau, 9 (1974).
- [56] R e v u e d u T e c h n i q u e d e F e u : Die Ableitung des Rauches, der Gase und der Wärme im Brandfalle (von der Firma Colt zur Verfügung gestellt).
- [57] R o u s e , H., W.D.Baldwin, H.W.Humphreys: Free Convection over Parallel Sources of Heat. Proc. Phys. Soc. LXVI 5-B (1952).
- [58] S p r a t t , D., M.J.M.Heselden: Efficient Extraction of Smoke from a thin Layer under a Ceiling, Fire Research Station; Note No. 1001; Febr. (1974)
- [59] S c h n e i d e r , U.: Baulicher Brandschutz im Industriebau (Berechnungen nach DIN 18 230). Bericht des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, Teil 1 + 2, (Juni 1978).
- [60] T h o m a s , P.H.: Investigations into the flow of gases in roof venting (Untersuchungen der Gasströmung bei Dachentlüftung). Fire Research Technical Paper No. 7, London (1963).

- [61] T h o m a s , P.H.: The Size of Flames from Natural Fires, S. 844 - 859; Size of Flames Natural Fires; Modeling Principles.
- [62] T h o m a s , P.H., C.L.Hinkley, C.R.Theobald, D.L.Simms: Investigations into the flow of hot gases in roof venting; Fire Research Technical Paper No. 7, London: Her Majesty's Stationary Office (1963).
- [63] T h o m a s , P.H., U.Nillsson: Fully Developed Compartment Fires: New Correlations of Burning Rates; Fire Research Note No. 979, Aug. (1973).
- [64] T h o m a s , P.H., M.A., Ph.D. u. P.L.Hinkley: Entwurf von Feuerentlüftungssystemen für einstöckige Gebäude. Department of scientific and industrial research and fire offices' committee joint fire research organization. Fire Research Technical Paper No. 10..
- [65] T h o m a s , P.H., R.Baldwin, J.R.Heselden: Buoyant Diffusion Flames: Some Measurements of Air Entrainment, Heat Transfer and Flame Berging. Tenth Symposium on Combustion, pp. 983 - 996, The Combustion Institute, 65.
- [66] T i m m e r b e r g , C.H.: Automatic control of smoke and heat vents. Fire International - 25; HD 611.
- [67] T i m m e r b e r g , C.H.: Roof light system as smoke and heat release vents; Fire International; No. 18, Wells, England 179/(1968).
- [68] T i m m e r b e r g , C.H.: Neue Brandschutzformel soll Unsicherheit im Planungsbereich "Rauchabzug" beseitigen; aus: Beratende Ingenieure; 4/72, August (1972).
- [69] T i m m e r b e r g , C.H.: Rauchentlüftung und Wärmeableitung im Industriebau, Zentralblatt für Industriebau 5, (1972).
- [70] T i m m e r b e r g , C.H.: Erst lüften, dann löschen; Maschinenmarkt Industriejournal (MM), Heft 21; Vogel-Verlag, Würzburg, (1972).
- [71] V e r b a n d der Sachversicherer, Köln: Richtlinien für Planung und Einbau von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) für den Brandfall in gewerblichen und industriellen Hallenbauten. Juni (1973).
- [72] W a k a m a t s u , T.: Calculation of smoke movement in buildings. Research Paper No. 46, Building Research Institute, Tokyo (1971).
- [73] W e i n e r t , Jung: Kurzfassung und Erläuterung der Untersuchungsergebnisse von P.H. Thomas und P.L.Hinkley für "kleine Brände" und "große, aber noch nicht voll entwickelte Brände". Fire Research Technical Paper No. 7 + No. 10 (1974)..
- [74] Y i h , Chia-Shun: Fire convection due to a point source of heat. Proc. 1st U.S. Nat. Congr. Appl. Dech., 941 - 947; (1952).
- [75] Y o k o i , S.: Study on the Prevention of Fire-Spread caused by hot upward Current; Research Member, Building Research Institute, Ministry of Construction; Japanese Government (Received June 6, 1960).
- [76] Y o k o i , S.: A Study on Dimensions of Smoke Vent in Fire-Resistive Construction. Report No. 29, Japanese Building Research Institute, Tokyo, (March 1959).

Neue Bezeichnung: INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU

DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY

Kurzfassung zum Forschungsbericht

Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden

(Literatursichtung im Hinblick auf DIN 18 230)

von

Akad. Oberrat Dr.-Ing. U. Schneider

Zusammenfassung

In dem Bericht wurden 76 Literaturstellen über den Rauch- und Wärmeabzug in Gebäuden ausgewertet. Es wurde festgestellt, daß die vorliegende Literatur sehr breit gestreut und vergleichsweise heterogen ist. Die theoretischen Ansätze zur Beschreibung des Rauch- und Wärmeabzugs sind nicht zufriedenstellend. In der Praxis werden allgemein Ansätze verwandt, die sich im wesentlichen auf die Ergebnisse einer einzigen Modelluntersuchung aus Boreham Wood abstützen.

Summary

The report gives a brief review on smoke and heat venting in fire compartments. It was found out that the existing literature covers a wide spectrum and deals with various subjects. The different theories on smoke and heat venting were not found to be satisfactory. The results of only one experimental investigation are generally being used as a basis for the development and design of smoke and heat venting systems in Germany.

...

Postsendungen:
Beethovenstraße 52, 3300 Braunschweig
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher: (05 31) 391 22 81

Fernschreiber: 9 52 698 lbstb d
Telegrammadresse: MPA Braunschweig

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber an einzelne Mitarbeiter.

R é s u m é

Ce rapport donne un aperçu sur la circulation de fumée et de chaleur dans les compartiments brûlants. Il était constaté que les publications existantes sont disséminées largement et traitent plusieurs sujets. Les théories différentes sur la circulation de fumée et de chaleur ne sont pas satisfaisantes. En Allemagne, les résultats d'une seule investigation expérimentale sont généralement appliqués comme base pour le développement et le projet des systèmes de circulation de fumée et de chaleur.